

## CONTROLLER FOR FLOATING ROBOT

**Publication number:** JP5119837

**Publication date:** 1993-05-18

**Inventor:** NORO OSAMU; IOI KIYOSHI

**Applicant:** KAWASAKI HEAVY IND LTD

**Classification:**

- International: **B25J5/00; B25J3/04; B25J9/10; B25J13/08; B64G1/24; G05D1/00; G05D1/08; G05D1/10; B25J5/00; B25J3/00; B25J9/10; B25J13/08; B64G1/24; G05D1/00; G05D1/08; G05D1/10; (IPC1-7): B25J5/00; B25J9/10; B25J13/08; B64G1/24; G05D1/00; G05D1/08; G05D1/10**

- european:

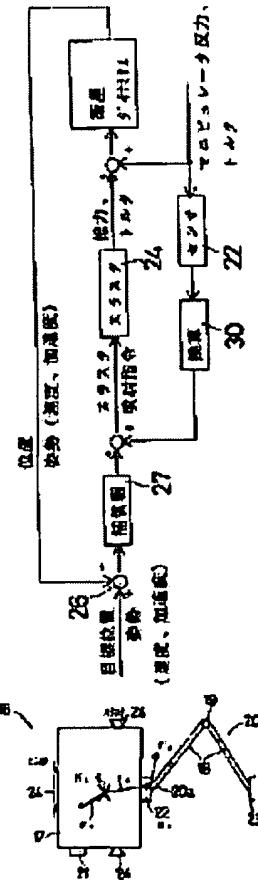
**Application number:** JP19910164355 19910704

**Priority number(s):** JP19910164355 19910704

[Report a data error here](#)

### Abstract of JP5119837

**PURPOSE:** To simplify the constitution, and also, to exactly execute the control by controlling a thrust force generating means to become a position and an attitude of a main body set by a target value setting means, based on outputs of a first and a second detecting means. **CONSTITUTION:** In a floating robot 16 in space and under the water, etc., a position and an attitude of its main body 17 are detected by a first detecting means 21. Also, in the floating robot 16, force and torque for working on the main body 17 are detected by a second detecting means 22 placed between the main body 17 and the root of a manipulator 20. A thruster 24 is controlled, based on outputs of a first detecting means 21 and a second detecting means 22 so as to become a position and an attitude set in a target value setting means (not shown in the figure). In such a way, by a simple constitution, before a fluctuation of the main body 17 caused by a motion of the manipulator 20 is generated, a motion of the main body caused by its disturbance is naged by the thruster 24, and the position and the attitude can be controlled at a satisfactory speed.



**BEST AVAILABLE COPY**

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平5-119837

(43) 公開日 平成5年(1993)5月18日

(51) Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
G 05 D	1/10	7828-3H		
B 25 J	5/00	E 9147-3F		
	9/10	Z 9147-3F		
	13/08	Z 9147-3F		
B 64 G	1/24	Z 8817-3D		

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全 12 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平3-164355

(22)出願日 平成3年(1991)7月4日

(71)出願人 000000974

川崎重工業株式会社

兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号

(72) 発明者 野呂 治

兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業  
株式会社明石工場内

(72) 発明者 五百井 清

兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業  
株式会社明石工場内

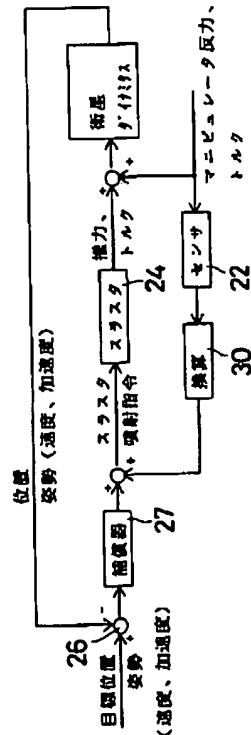
(74)代理人 弁理士 西教 圭一郎 (外1名)

(54) 【発明の名称】 浮遊ロボットの制御装置

(57) 【要約】 (修正有)

【構成】宇宙空間および水中などにおける浮遊ロボット16の本体17にはマニピュレータ20が設けられ、本体の位置および姿勢を第1検出手段21によって検出し、その本体とマニピュレータの付け根との間にそのマニピュレータによって本体に作用する力とトルクを検出する第2検出手段22を介在し、目標値設定手段25において設定されている本体の位置および姿勢となるように、第1および第2検出手段の出力に基づいて、スラスター24などの推進力発生手段を制御する。これによってマニピュレータの動きによる本体の変動が生じるよりも先に、推進力発生手段によってその外乱による本体の動きを打ち消し、本体の位置および姿勢を目標値に保つ。

【効果】簡単な構成で、良好な応答速度で浮遊ロボットの本体の位置および姿勢、さらには速度および加速度などをマニピュレータの動きによって乱されることなく、制御することが可能となる。



BEST AVAILABLE COPY

1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 可動物体が設けられる浮遊ロボットの制御装置において、

ロボット本体に設けられ、推進力を発生する手段と、  
ロボット本体の位置および姿勢の目標値を設定する目標値設定手段と、  
ロボット本体の位置および姿勢を検出する第1検出手段と、

ロボット本体と、そのロボット本体に設けられる可動物体との間に介在され、力とトルクを検出する第2検出手段と、

目標値設定手段と第1検出手段と第2検出手段との各出力に応答して、ロボット本体が目標値設定手段で設定した目標値からずれるのを防ぐために、推進力発生手段を駆動する手段とを含むことを特徴とする浮遊ロボットの制御装置。

10

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、宇宙空間および水中などで作業を行うマニピュレータなどが備えられた浮遊ロボットにおけるロボット本体の位置および姿勢などを制御するための装置に関する。

20

## 【0002】

【従来の技術】 典型的な先行技術は図9に示されている。人工衛星の本体1の位置および姿勢を制御するために、その本体1にはセンサ2が設けられ、これによって本体1の位置および姿勢が検出され、減算回路3に与えられる。減算回路3にはまた、目標となる位置および姿勢を表す信号が与えられる。減算回路3の出力は、本体1に設けられた推進力を発生するための推進機であるスラスター4を制御するためのスラスター制御回路5に与えられ、こうして本体1の位置および姿勢が制御される。

30

【0003】 この図9に示される先行技術のブロック図は、図10である。制御回路5の出力であるスラスター噴射指令信号はスラスター4に与えられ、これによって本体1に推力およびトルクが発生され、参照符6で示されるように、本体1のダイナミックスすなわち動力学の入出力特性が得られ、その本体1の位置および姿勢が、センサ2によって前述のように検出されて、減算回路3に与えられる。

40

【0004】 このような先行技術において、さらに図1に示されるように、本体1に複数のリンクを備えるマニピュレータ8が設けられているとき、図11に示されるブロック図が構成されることになる。参照符9で示されるようにマニピュレータ8による反力およびトルクは、加算回路10で示されるように、スラスター4による推力およびトルクに加算される。したがってマニピュレータ8からの反力とトルクによって、衛星本体1の動き、すなわち位置および姿勢が乱されることになり、このマニピュレータからの反力とトルクによって発生する

本体1の位置および姿勢の誤差を修正するようにスラスター4が作動される。すなわち、マニピュレータ8からの反力とトルクにより、衛星の動き（位置、姿勢）が乱される。従来の姿勢制御では、その結果、発生する位置や姿勢の誤差を修正するようにスラスター4を作動させる。

【0005】 このような図9～図11に示される先行技術では、本体1がマニピュレータ8の反力とトルクによって動いた後に、スラスター4が作動されることになり、応答速度が低いという問題がある。

【0006】 さらに他の先行技術のブロック図は、図12に示されている。この方法は、マニピュレータの運動と衛星本体の運動の相互干渉を考慮して、それぞれの動きが目的に合致するように、一度にスラスター推力とマニピュレータ関節トルクを決定する方法である。この先行技術では、浮遊ロボットを多体リンク系として、その運動方程式から各マニピュレータの各関節トルクが本体の運動に及ぼす影響を数式的に表現し、その数式を解くことによって、本体の推進力を決定する。この図12の先行技術では、制御回路である補償器11からのスラスター噴射指令信号はスラスター4に与えられ、またマニピュレータのトルク指令信号は関節アクチュエータ12に与えられ、こうしてスラスター4によって発生される本体の推進力およびトルク、ならびに関節アクチュエータ12による関節トルクによって本体1とマニピュレータの複合系ダイナミクス13が形成され、センサ2は本体1の位置および姿勢を検出して減算器3に与え、この減算器3には本体1の目標となる位置および姿勢を表す信号が与えられ、また複合系ダイナミクス13からのマニピュレータ制御変数、すなわち位置、姿勢、関節角、速度、手先反力などを表す信号は減算回路14に与えられ、この減算回路14には、マニピュレータの制御変数の目標値が与えられ、これらの減算器3、14の出力は制御回路11に与えられる。すなわちマニピュレータの運動と、本体の運動の相互干渉を考慮して、それぞれの動きが目的に合致するように、一度にスラスター推進力とマニピュレータ関節トルクを決定する。これによって正確に本体の動きを制御することができるという利点があるけれども、次のような欠点（1）および（2）がある。

【0007】 （1）対象のダイナミクスが一般的に複雑であり、マニピュレータ8が6軸であれば、本体1と併せて7個の剛体がつながったリンクのダイナミクスになる。マニピュレータ8が複数になると、さらに飛躍的に複雑なダイナミクスになる。したがって現存の計算機で実現するのは困難であり、特に宇宙空間に設けられることができるように小形の計算機で数式を解くのは、不可能に近い。

【0008】 （2）またこの先行技術ではマニピュレータの各リンクおよび本体の質量、慣性モーメント、重心位置などの多くの力学パラメータが必要となり、これらの力学パラメータは、すべて正しい値を用いなければ、

BEST AVAILABLE COPY

正しい制御を実現することはできない。したがってマニピュレータで物をつかんだりした場合、つかんだ物の質量や慣性モーメント、重心位置などを正しく与えなければならない。したがってつかむ可能性のある物のデータベースを持つか、対象の力学特性を計測する必要があり、現実的には、用途が限られてしまうという問題がある。

【0009】本発明の目的は、比較的簡単な構成で、浮遊ロボットの本体の位置および姿勢などを正確に制御することができるようとした浮遊ロボットの制御装置を提供することである。

#### 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、可動物体が設けられる浮遊ロボットの制御装置において、ロボット本体に設けられ、推進力を発生する手段と、ロボット本体の位置および姿勢の目標値を設定する目標値設定手段と、ロボット本体の位置および姿勢を検出する第1検出手段と、ロボット本体と、そのロボット本体に設けられる可動物体との間に介在され、力とトルクを検出する第2検出手段と、目標値設定手段と第1検出手段と第2検出手段との各出力に応答して、ロボット本体が目標値設定手段で設定した目標値からずれるのを防ぐために、推進力発生手段を駆動する手段とを含むことを特徴とする浮遊ロボットの制御装置である。

#### 【0011】

【作用】本発明に従えば、本体の位置および姿勢を第1検出手段によって検出し、可動物体、たとえばマニピュレータとそれが取付けられている浮遊ロボット本体との間に、第2検出手段を介在して可動物体の運動による本体に及ぼす影響を検出し、こうして得られる第1および第2検出手段からの出力と本体の位置および姿勢の予め設定されている目標値とに応答して、その目標値からずれるのを防ぐようにスラスタなどの推進力発生手段を制御する。こうしてマニピュレータなどの可動物体をどう動かそうと、それらが本体に及ぼす影響は、マニピュレータなどの可動物体の付け根と力とトルクに集約される。したがってそのマニピュレータなどの付け根における力とトルクを第2検出手段によって検出すれば、力学パラメータおよびハンドリングされるべき物体がどうなつていいようと、直接的に本体への影響が判り、容易に、その影響を補正した本体制御が可能となる。

【0012】第1検出手段によって検出される本体の位置および姿勢だけでなく、さらにその第1検出手段によって、速度および加速度が検出されてもよく、目標値設定手段では、本体の位置および姿勢だけでなく、その他さらに速度および加速度が設定され、その目標値となるように、推進力発生手段が制御されるようにしてもよい。

#### 【0013】

【実施例】図1は本発明の一実施例の全体のブロック図

であり、図2はスラスタ24を駆動する構成を示すブロック図であり、図3はその具体的な構成を示す図である。この実施例では、本体17とマニピュレータ20とを切り放して考え、マニピュレータ20から本体17への影響は、マニピュレータ20の根元に発生する力とトルクに集約されるのであるから、それらを打ち消すような信号をスラスタ24の噴射指令に加えてやれば、マニピュレータ20の影響を受けずに衛生本体の姿勢制御が実現できる。

【0014】浮遊するロボット本体17は、一般に位置の3自由度と姿勢(方向)の3自由度の計6個の自由度を持ち、ガスジェットなどの推進機であるスラスタ24は、それらの6個の自由度を制御するのに必要な個数が設置されている。スラスタ24としてガスジェットを用いた場合、一般にガスピボンベ24cとノズル24aの間に弁24bを置き、その弁24bの開閉のタイミングによって制御を行う。すなわち、噴射されるジェットの強さは一定で、ジェットを噴射する長さと頻度でその効き目を調整する。

【0015】弁開閉指令は、正の定められた値とゼロおよび負の定められた値の3つの値しかとらず、弁開閉指令が正の値になったときは正方向に力を発生するスラスタ24の弁24bのみを開き、弁開閉指令が負の値になったときは負方向に力を発生するスラスタ24の弁24bのみを開き、弁開閉指令がゼロのときはいずれの弁24bも閉じる。また、力指令から弁開閉指令に到るブロックは、連続の値をとる力指令に対応してパルス列を作り出す回路の一例を示している。力指令がゼロであれば弁開閉指令のパルスは全く出ず、力指令がプラスになると、弁開閉指令として正のパルスが出力され、力指令の値が大きくなるに従って出力パルス幅が増大する。力指令がある値を越すと、出力パルスはオフにならずに出続ける。また、マイナスの力指令に対しては、マイナスのパルスが出力され、力指令がマイナス方向に増大するに従って、そのパルス幅は増大し、ついには負のパルスが出続ける。この図2における力指令から弁開閉指令を生成する方式によるとスラスタ24が発生できる力の範囲内では、スラスタ24の推力の時間平均が力指令に正比例することは容易に示せる。これらのことから、この図2で示された系においては位置指令からの実際の位置のずれに応じて力指令が生成され、スラスタ24からは断続的であるが平均すればその力指令に比例する力が宇宙機に加えられる構成になっており、これによって宇宙機である本体17の位置が所定位置に保たれるよう制御される。

【0016】前述のように、この図2に示した制御装置は、宇宙機である本体17の位置制御システムの1例であって、各部分の構成や制御手法について、種々の方法があるのは明らかである。たとえば、位置だけでなく、速度や加速度も検出して制御に用いれば、より精密な制

御が可能となる。以下の説明では本発明の作用、効果を示すための例として、この図2の制御系に減衰をよくするために速度をフィードバックを付加したものをとりあげるが、異なった制御システムにおいても、以下で説明する考え方でもって、本発明を実施することは容易である。

【0017】浮遊ロボットは、図2の宇宙機である本体17にマニピュレータ20を取り付けた図4のものとみなすことができる。マニピュレータ20が作業を行うために動くと、ロボット本体17に対してその反動、すなわち本体17とマニピュレータ20との結合状態を保つための拘束力が作用し、その結果、ロボット本体17の運動が影響を受ける。また、その反動は、マニピュレータ20がどう動こうとマニピュレータ20と本体17との接続部20aにおける並進力とモーメントにすべて集約されることは明らかである。いま、本体17とマニピュレータ20の接続位置20aにおいて本体17に作用する並進力をF<sub>d</sub>、モーメントをN<sub>d</sub>、本体重心Gから見た接続位置の位置ベクトルをr<sub>d</sub>とおく。また、本体17が持っているスラスター24などの推進装置による並進力およびモーメントをそれぞれF<sub>t</sub>およびN<sub>t</sub>とおく。本体17には、これらの他の並進力やモーメントは働くないとする。本体17の質量をM、慣性テンソルをIとおくと、本体17の運動は、数1で示される運動方程式によって決定される。

【0018】

【数1】

$$M \frac{d\mathbf{v}}{dt} = F_t + F_d$$

$$\frac{d\mathbf{I}\omega}{dt} = N_t + N_d + r_d \times F_d$$

【0019】ただし、vは本体速度ベクトル、ωは本体角速度ベクトル、×はベクトル積記号である。

【0020】いま、ロボット本体17に加えたい並進力をF<sub>t0</sub>、モーメントをN<sub>t0</sub>とすると、マニピュレータ20からの反動による並進力とモーメントを打ち消すためには、スラスター24などの推力発生手段に

【0021】

$$【数2】 F_t = F_{t0} - F_d$$

なる並進力と、

$$N_t = N_{t0} - (N_d + r_d \times F_d)$$

なるモーメントを発生させればよいことになる。たとえば、n個のスラスター24を用いてこれを実現するには、各スラスター24の推力F<sub>t1</sub>が作用する点の本体重心に対する位置ベクトルをr<sub>t1</sub>とすると、

【0022】

【数4】

$$\sum_{i=1}^n F_{t1} = F_t$$

【0023】

【数5】

$$\sum_{i=1}^n r_{t1} \times F_{t1} = N_t$$

【0024】を満たすようにF<sub>t1</sub>を決めればよい。

【0025】本発明で重要なことは、(1) 浮遊ロボット本体の推進力およびモーメントを数2および数3によってそれぞれ決定すること。スラスターなどのように、推進力およびモーメントを任意の値には設定できず、数2、数3を厳密には満足できない場合には、たとえば上の図のスラスターのオン／オフ信号に変換する前の力指令値を数2、数3により設定すること、(2) 数2、数3に含まれるN<sub>d</sub>、F<sub>d</sub>を検知するために、マニピュレータ20とロボット本体17の接続部分に力／トルクセンサを設置し、その信号を用いてロボット本体17の推進力とモーメントを制御すること、の2点を組合せた浮遊ロボットの制御装置である。

【0026】前述の図1と図2の構成に、本発明による制御を組込んだ場合の例を図4に示す。

【0027】このような構成によれば、マニピュレータ20からの反力とモーメントが正確に検出でき、推進力とモーメントを直接厳密に制御できる場合は、本発明が理想的な結果をもたらすことは明らかである。ここでは、マニピュレータ20からの力とモーメントの検出は理想的で、ロボット本体17の推進力と推進モーメントが図1あるいは図2のスラスター24を使った場合で示すように、一定値のオン／オフでしか発生できない場合について示す。本発明の効果を示すことが目的であるからモデルは簡単化して、1自由度の質点とし推進力は正および負の定まった値とゼロの3つの値のみをとれることとし、力指令からスラスターのオン／オフへの変換は図1あるいは図2で示した方法をとることとする。この場合の制御プロック図を、図5に示す。この外乱補償付き位置制御系プロック図の一次元モデルにおいて、

M: ロボット本体質量

K<sub>v</sub>, G<sub>c</sub>, K<sub>1</sub>: 制御ゲイン

である。○は、積分を示す。

【0028】この図5のブロック図の下でシミュレーションを行った結果を、以下に示す。

【0029】図6は外乱力は働くはず、本体17が目標位置から離れている状態でこの制御を働かせたときの応答で、スラスター24の数回のオン／オフの後に本体は目標位置に収束している。

【0030】図7、図8は、外乱が加わった場合の応答で、図7は外乱補償をしない場合、すなわち図5の外乱補償オン／オフスイッチがオフの場合、図8は本発明に基づく補償をえた場合、すなわち図5の外乱補償オン／オフスイッチがオンの場合の応答である。図7においては、本体17の位置は目標から離れたところへ収束するのに対し、図8においては外乱が加わった当初にわずかに偏位が生じるが、すぐに目標位置に収束している。

BEST AVAILABLE COPY

この例より、本発明の効果は明らかである。図6(1)、図7(1)および図8(1)は推力は示し、図6(2)、図7(2)および図8(2)は速度を示し、図6(3)、図7(3)および図8(3)は変位を示す。これらの図面を参照して、宇宙空間および水中などに設けられる浮遊ロボット16の本体17には、複数のリンク18と複数の関節19とを有するマニピュレータ20が、設けられる。本体17の位置および姿勢、さらには速度および加速度を検出するために、第1検出手段21がその本体17に設けられる。本体17とマニピュレータ20の付け根との間には、第2検出手段22が設けられる。この第2検出手段22は、マニピュレータ20による本体17に作用する力とトルクを検出する。マニピュレータ20の手先23は、ハンドリングすべき物体をつかむことなどができる。本体17には、希望する方向に本体17に推進力を発生するための手段であるスラスター24が取付けられる。

【0031】本体17の位置および姿勢、さらには速度および加速度の目標値は、目標値設定手段25によって設定される。その目標値は減算回路26に与えられる。減算回路26には、第1検出手段21によって検出された本体17の位置および姿勢を表す信号が与えられる。減算回路26からの出力は補償器である制御回路27に与えられる。制御回路27からライン28を介するスラスター24のための信号は、減算回路29に与えられる。減算回路29から出力は減算回路32に与えられ、その減算回路32の出力は積分回路33に与えられて積分され、ヒステリシス回路34から弁開閉指令信号が導出され、弁24bに対応する駆動回路35、36にそれぞれ与えられ、この弁開閉指令信号はまた、減算回路32に与えられる。

【0032】マニピュレータ20の動きによる本体17に作用する反力およびトルクは、第2検出手段22によって検出され、制御回路27からの出力に対応するよう換算回路30によって換算され、こうして得られた信号は、加算回路29に与えられ、こうして加算回路29からは前述のように、スラスター24のための信号が得られる。このようにして、マニピュレータ20による本体17に作用する反力およびトルクを打ち消すための信号が換算回路30から発生されて得られ、したがってマニピュレータ20による本体17の目標位置および姿勢から離れをなくすのではなく、マニピュレータ20による外乱によって、本体17の位置および姿勢の制御系が乱れるのを防ぐ。こうして本体17がマニピュレータ20による外乱によって動いてしまうよりも先に、換算回路30から得られる信号によってスラスター24を動作させて、本体17への影響を打ち消し、本体17がマニピュレータ20による外乱で動くことを防ぐ。

【0033】上述の実施例では本体17の外部にマニピュレータ20が備えられているけれども、本発明の他の

実施例として、本体17内に形成された空間に、マニピュレータ20の作業空間が設けられるようにもよる、このようにマニピュレータ20が本体17の内部空間に設けられるときにおいても、本発明が実施される。さらにマニピュレータに代えて、他の可動物体であってもよい。この可動物体はたとえば、本体17に形成された内部空間内で、無重力状態で浮遊する作業者などであってもよく、その他の物体であってもよい。

## 【0034】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、第1検出手段によって本体の位置および姿勢を検出し、また本体とマニピュレータなどの可動物体との間に第2検出手段を介在して、力とトルクを検出し、こうして本体に設けられている推進力発生手段を、目標値設定手段によって設定されている本体の位置および姿勢となるように制御することによって、簡単な姿勢で、しかも本体の位置および姿勢などが可動物体の影響によって動いてしまうよりも先に、推進力発生手段によってそのような外乱による位置および姿勢の変動を打ち消して、本体が、可動物体の動きである外乱によって変動することを防ぐことができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例の全体のブロック図である。  
【図2】図1に示される実施例の具体的なブロック図である。

【図3】本発明の一実施例の具体的な構成を示す図である。

【図4】図3に示される実施例の電気的な構成を示すブロック図である。

【図5】本発明の一実施例の本件発明者による一次元モデルを示すブロック図である。

【図6】本件発明者の実験結果を示すグラフである。

【図7】本件発明者の実験結果を示すグラフである。

【図8】本件発明者の実験結果を示すさらに他のグラフである。

【図9】先行技術の衛生姿勢制御系を示す構成の図である。

【図10】図9に示される先行技術のブロック図である。

【図11】図9および図10に示される先行技術においてマニピュレータを備えたときの先行技術の構成を示すブロック図である。

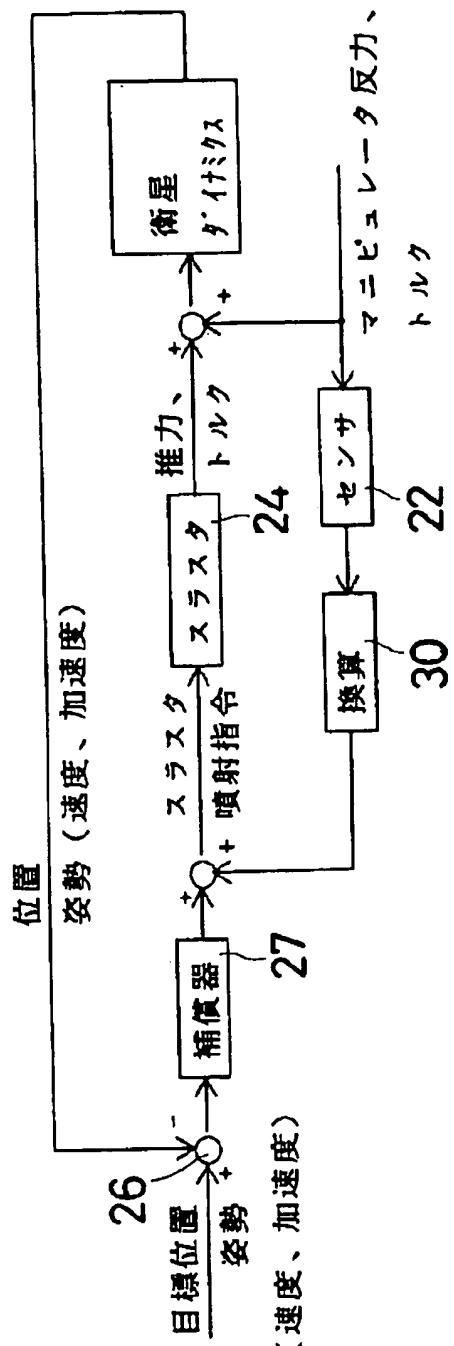
【図12】他の先行技術を示すブロック図である。

## 【符号の説明】

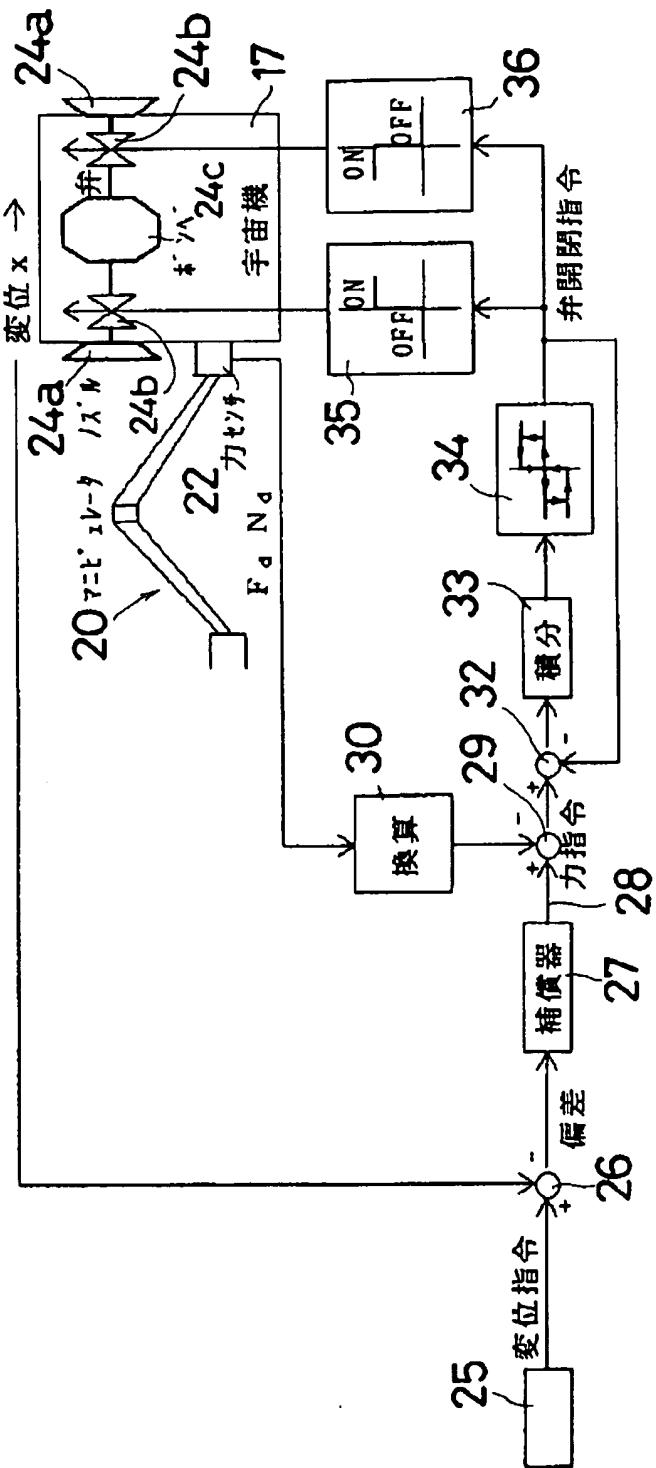
- 16 浮遊ロボット
- 17 ロボット本体
- 20 マニピュレータ
- 21 第1検出手段
- 22 第2検出手段
- 24 スラスター

BEST AVAILABLE COPY

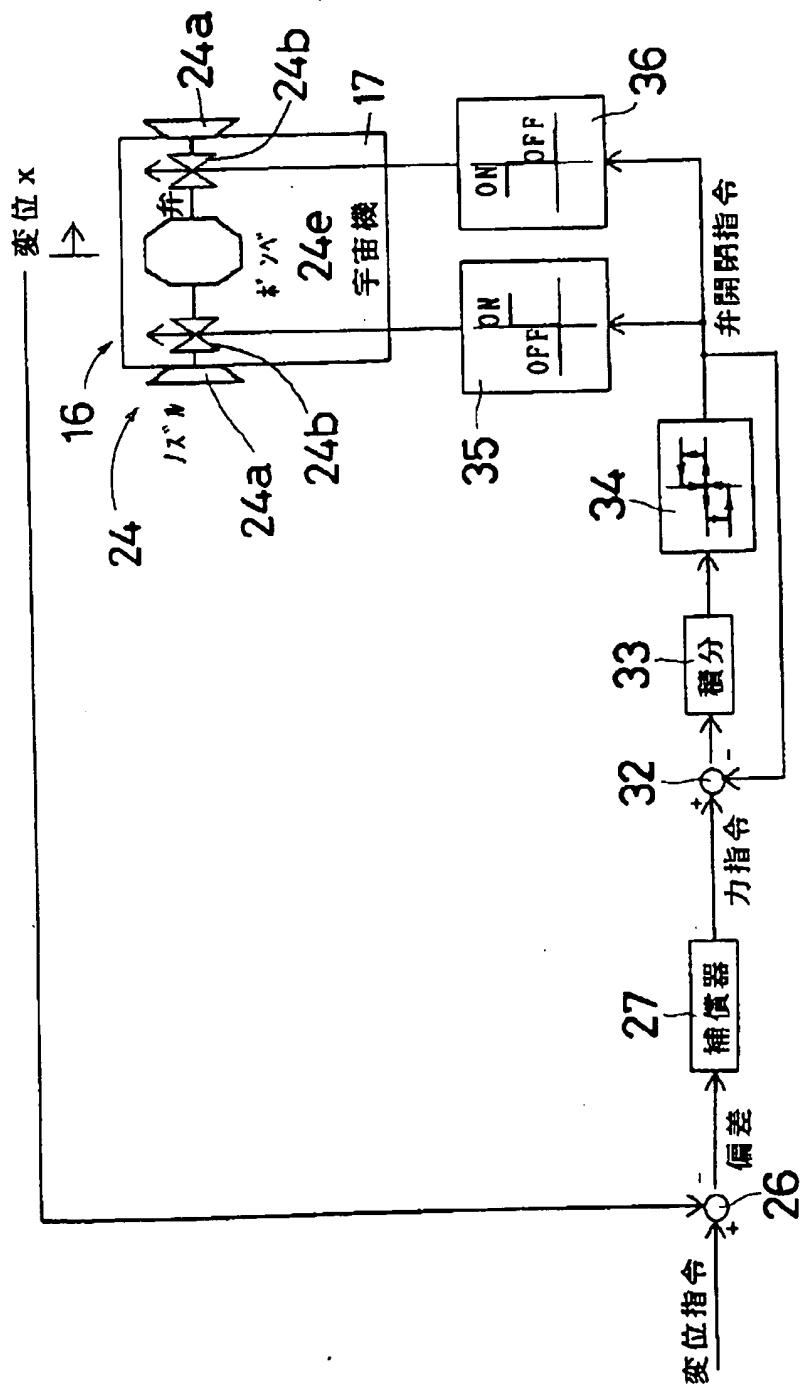
【図1】



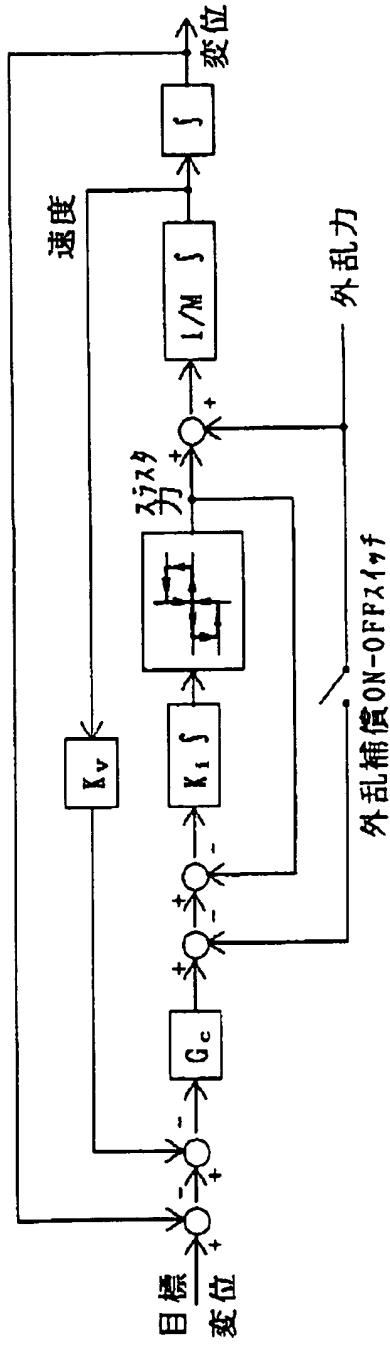
[图4]



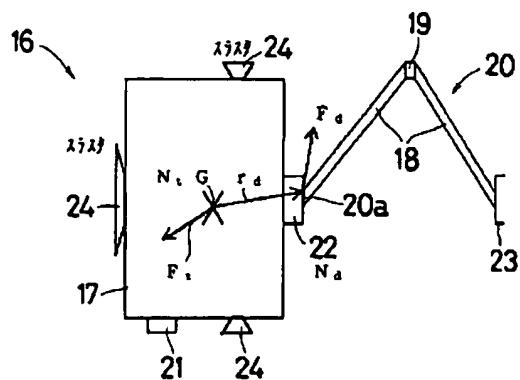
[図2]



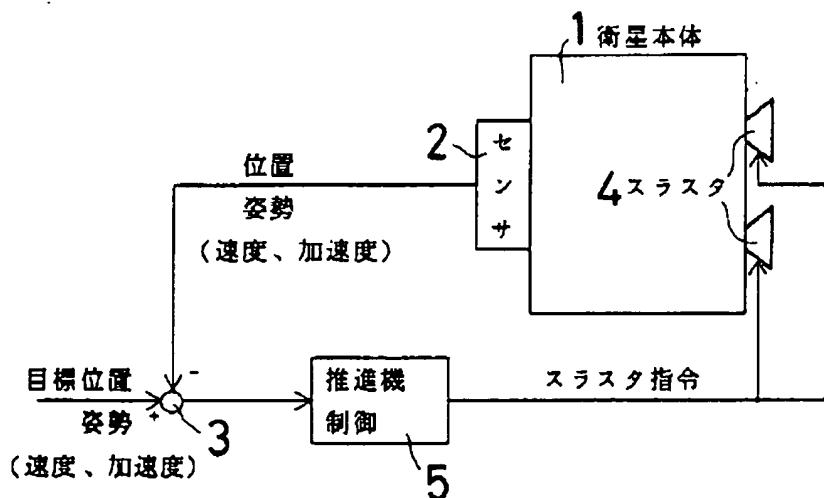
〔図5〕



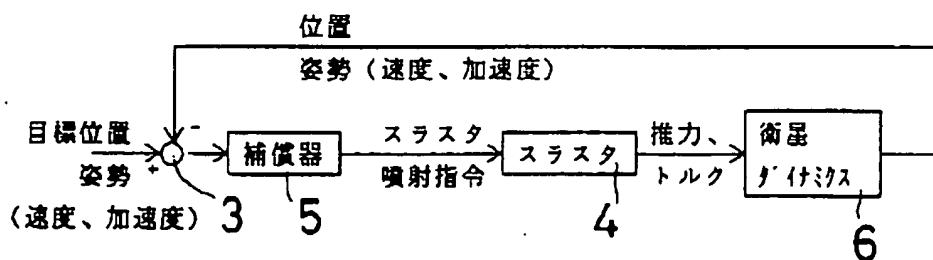
【図3】



【図9】



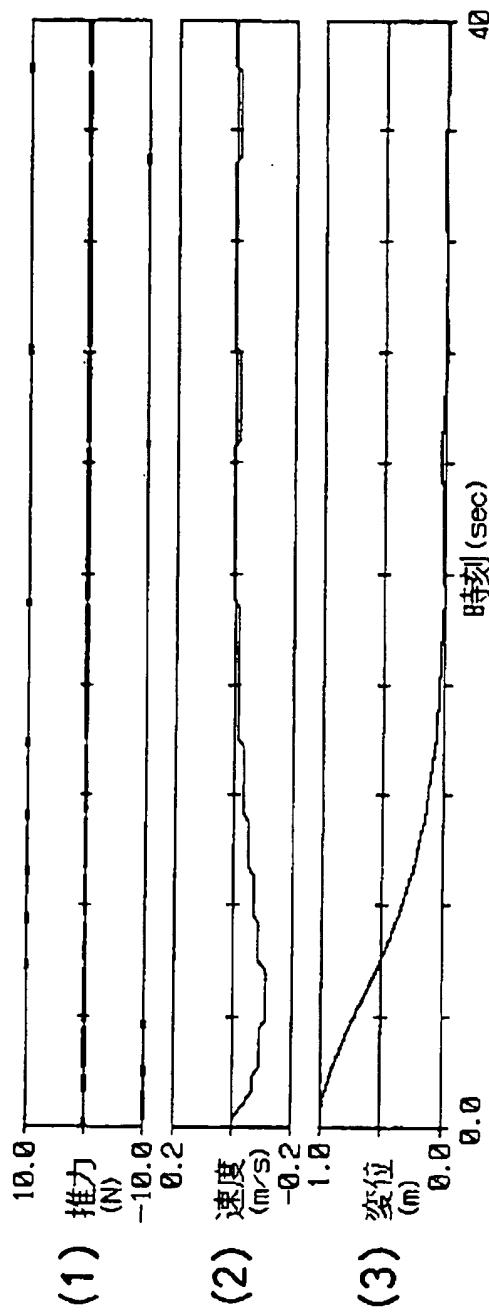
【図10】



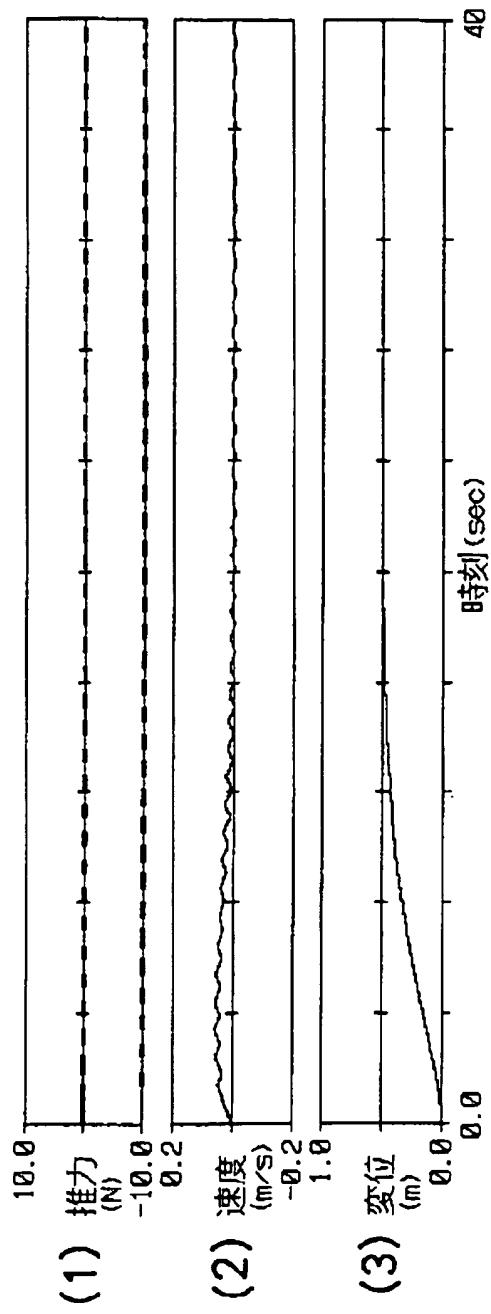
(9)

特開平5-119837

【図6】



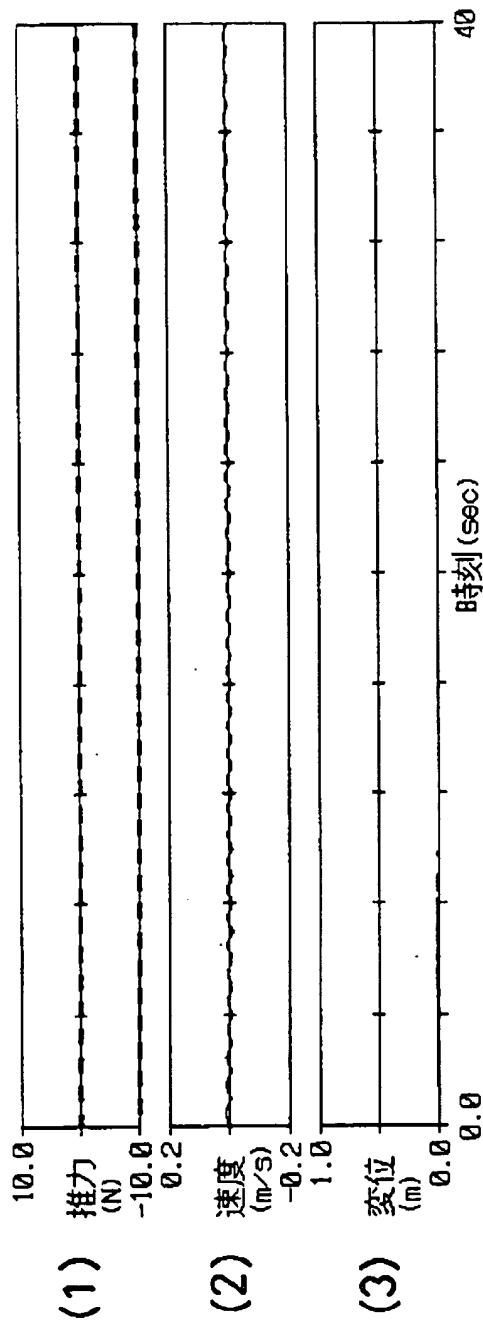
【図7】



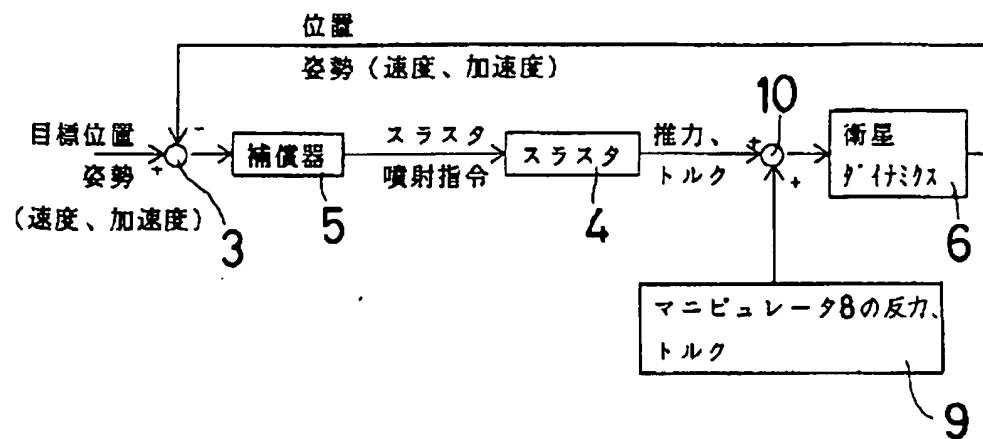
(10)

特開平5-119837

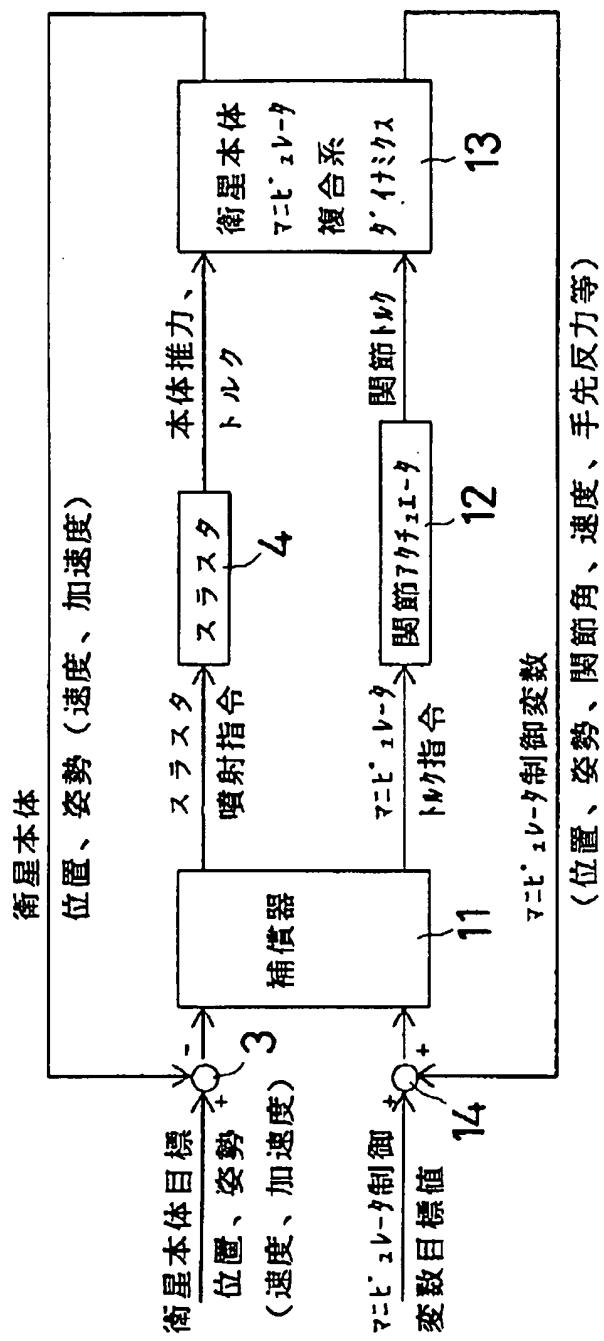
【図8】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

G 05 D 1/00

1/08

識別記号 庁内整理番号

A 7828-3H

A 7828-3H

Z 7828-3H

F I

技術表示箇所

BEST AVAILABLE COPY